

中尾山トンネルの 施工中の問題点と補助工法の検討

高園 紘徳¹・小辻 英俊²

¹九州地方整備局 八代河川国道事務所 工務第二課 (〒866-0831 熊本県八代市萩原町1丁目708-2)

²九州地方整備局 八代河川国道事務所 工務第二課長 (〒866-0831 熊本県八代市萩原町1丁目708-2)

熊本3号中尾山トンネルは、熊本県八代市と鹿児島県鹿児島市を結ぶ南九州西回り自動車道の芦北出水道路の中間に位置するトンネルであり、平成30年3月14日から開通に向けて工事を進めている。本工事は、掘削途中で想定とは異なる地山が出現し、それに伴い内空変位の増大や切羽天端・鏡面が崩落した。その問題に対し、インバートストラットを使用した支保工の早期閉合や切羽安定対策としてフォアポーリング等の補助工法を検討し適用した。本稿では、中尾山トンネル新設工事にて発生した事象とそれに対する補助工法の検討等について報告する。

Key Words: トンネル, インバート工, 早期閉合, 切羽安定対策

1. はじめに

熊本3号中尾山トンネルは、鹿児島県と熊本県を結ぶ「南九州西回り自動車道 芦北出水道路」の一部を構成しており、開通に向けて平成30年3月14日から工事を進めている。



図-1 位置図

本トンネル工事は、当初より上半先進ベンチカット工法で掘削を進めていたが、TD250m(起点側坑口より250m)付近にて想定とは異なる地山が出現した。それに伴い、内空変位の増大および切羽天端・鏡面の崩落が発生したため、それらの事象に対する補助工法を検討し対策を実施した。本稿では、中尾山トンネル新設工事における施工中の問題点と補助工法の検討について報告する。

2. トンネル概要

2-1. 工事概要

- (1) 工事名：熊本3号 中尾山トンネル新設工事
- (2) 工事場所：熊本県水俣市長野町地先
- (3) 工期：平成30年3月14日～

令和2年10月30日

- (4) 路線：南九州西回り自動車道 芦北出水道路
- (5) トンネル延長：L=1,428m
- (6) 工法：NATM(機械掘削工法)

2-2. 地質概要

中尾山の地質は、主に新第三紀の地質で安山岩や火砕岩が分布し、火砕岩類には、凝灰角礫岩、凝灰岩、火山礫凝灰岩、軽石凝灰岩等の複数の岩相が含まれており、本トンネルはこの火砕岩分布域に位置する。

工事は、地質縦断面図(図-2)の地質を想定し、掘削を進めていたが、TD260m付近で想定されていない断層が確認され、起点側坑口の一部のみに存在すると考えられていた凝灰岩・軽石凝灰岩層が出現し、TD290m以降ではトンネル下方に位置すると考えられていた頁岩砂岩互層が出現した。

凝灰岩の特徴は、スレーキング特性が顕著に表れ乾湿の繰り返しにより脆弱化していることであり、岩片はハンマーで叩く程度で割れる。また湧水も広範囲で確認されており、水平ボーリング孔から約600L/minもの湧水が確認されたこともあった。

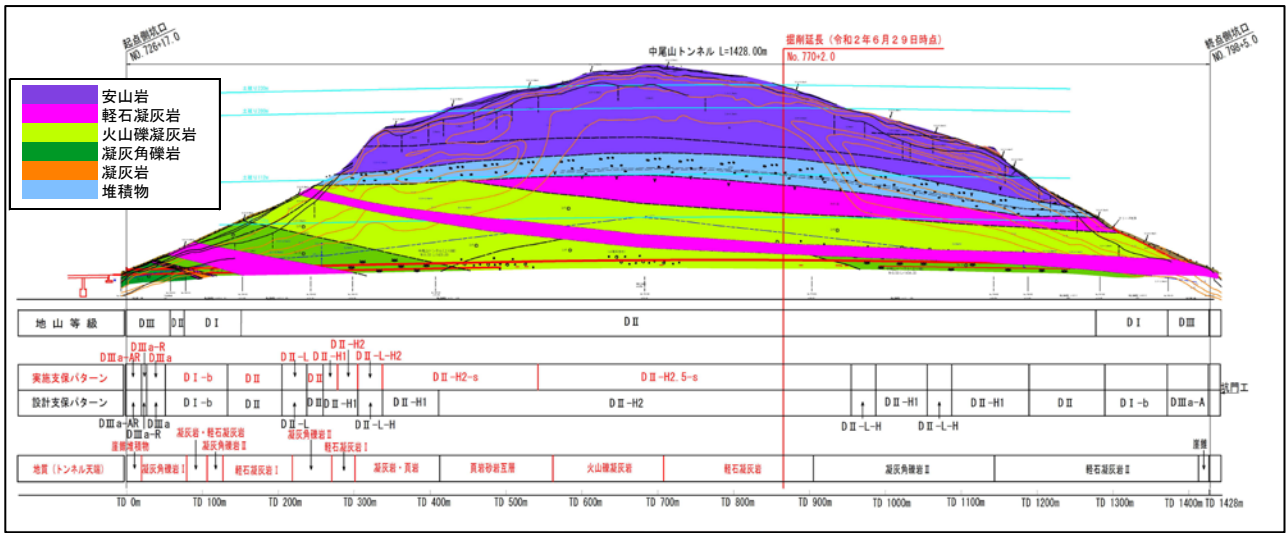


図-2 地質縦断面

2-3. 支保工の設計

本工事の地山等級は図-2に示すとおり、DⅠ、DⅡ、DⅢの組み合わせとなっており、約90%がDⅡパターンと設定されている。DⅡの支保パターン図を以下に示す。

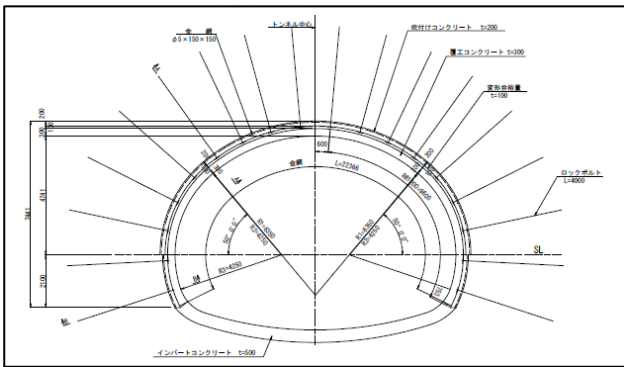


図-3 支保パターン図 (DⅡ)

3. 発生した事象

3-1. 切羽天端・鏡面の崩落

TD290m以降では、想定していなかった地質や湧水が要因となり、切羽天端・鏡面の崩落が発生した。(図-4、5) なお、坑口部分よりDパターンの切羽鏡面では吹付コンクリートを実施していた。



図-4 天端崩落



図-5 鏡面崩落

3-2. 内空変位の増大

A計測では、TD250m～TD300m間の測点で水平内空変位量が管理レベルⅡ(変位量76.5mm)を超える状況が続き、TD260m付近の支保工でロックボルト座金の変形や吹付コンクリートのひび割れが発生した。(図-6)

また、TD280mでは管理レベルⅢ(変位量102mm)を超え、下半施工後も変位が収束しない状況であった。(図-7)



図-6 ロックボルト変形、ひび割れ状況

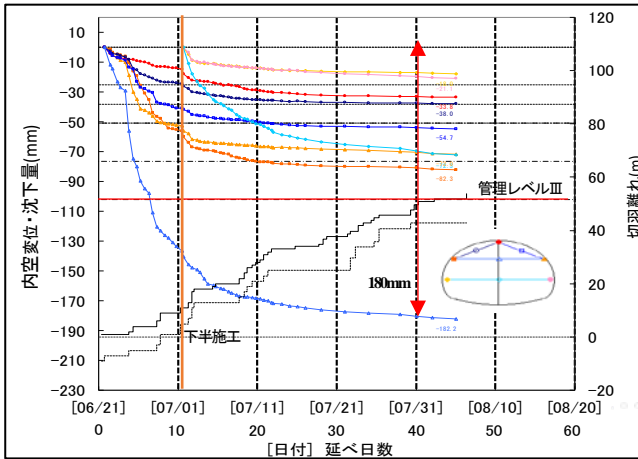


図-7 A計測結果 (TD280m)

4. 補助工法の検討

4-1. 切羽安定対策

a) 天端部の安定対策

天端部の安定対策として3種の先受け工を実施した。TD293mでは充填式フォアポーリングを追加したが、サイクルの掘削時に天端部が崩落した。フォアポーリングのボルトも含め崩落したことから、地山の固結度が低いと考え、天端部をシリカレジンで改良し、地山を安定させることが有効と判断し、TD294m以降は注入式フォアポーリングを実施した。しかし、TD312m付近で天端部の崩落が発生したため、以降は注入式長尺鋼管先受工に変更した。

b) 鏡面の安定対策

鏡面の安定対策としてTD290m以降、シリカレジンによる地山の改良が必要と判断し、注入式短尺鏡ボルトを追加実施した。しかし、TD325m付近にて2度目の鏡面崩落が発生したため、注入式長尺鏡ボルトに変更した。

4-2. 変位抑制対策 (早期閉合)

a) 早期閉合に至るまでの経緯

TD250m付近より内空変位が増大していたことから、TD281mより設計支保パターンであるDII-HI (吹付強度 18N/mm²)をDII-H2 (吹付強度 36N/mm²)に変更し変位抑制を試みた。しかし、期待した効果は得られず、支保工の水平内空変位量が管理レベルIIIを超過した。

b) 早期閉合の検討

DII-H2パターンでの変位発生状況は初期変位が大きく、切羽が20m以上進行しても収束せず、変位が増大が続く状況であった。

これを抑制する方法として、「支保工の増強」、「早期閉合」の2つの案を比較検討した。(表-1)

まず、支保工の増強案については、DII-H2(吹付厚 200mm、鋼製支保 HH154×151)の上位支保パターンとしてDII-H3(吹付厚 250mm、鋼製支保 HH200×201)パターンが詳細設計時に計画されていた。H3はH2に比べ、支保耐力が約25%増強されるため採用を検討したが、高規格の鋼製支保は受注生産であり、規格変更による材料調達に2ヶ月の期間を要することから、施工中の本工事では採用できなかった。このため、早期調達できるH200×200を採用した支保パターンDII-H2.5を支保工の増強案とした。H2.5はH2に比べ支保耐力が12%増強される。

早期閉合案は、支保パターンDII-H2のインバート部にストラットと吹付コンクリートを追加することで支保工をリング構造へ変更し、切羽離れ10m以内でインバート部を施工することで、早期に支保工を閉合する案である。荷重分散等による変位抑制効果は見込めたが、コストはH2と比べH2-s(ストラット)では42万円/mの増額となり、支保工の増強案より高額であった。

表-1 比較検討表

		D II-H2	D II-H2.5 (案1)	D II-H3	D II-H2-s(ストラット) (案2)
鋼製支保	仕様	HH154×151(高規格)	H200×200	HH200×201(高規格)	HH154×151(高規格) ストラットHH154×151(高規格)
ロックボルト	仕様	耐力176.5kN 4m			
	本数(本)	18			
吹付コンクリート	仕様	36N/mm ² (高強度)	36N/mm ² (高強度)		36N/mm ² (高強度)
	厚さ(mm)	200	250		200
支保圧 (支保性能)	(MPa)	1.781	1.996(+12%)	2.233(25%)	1.781
経済性 (D II-H2との差)	円/m	-	+15万円/m	+18万円/m	+42万円/m
備考		設計パターン	JV提案パターン	設計パターン (納入まで2か月必要)	JV提案パターン

抑制方法の決定にあたり、土木研究所へも対策内容の確認を行い「初期変位が大きいこと、今後さらに土被りが大きくなることを考慮し、確実に変位を抑制できる方法として、早期閉合案を採用した方が良い。」との助言を受け、初期変位の抑制に効果が高いと考えられる早期閉合案を採用した。(図-8、9、10)

また、早期閉合を行うにあたり、掘削工法を上半先進ベンチカット工法から補助ベンチ付き全断面掘削工法に変更している。

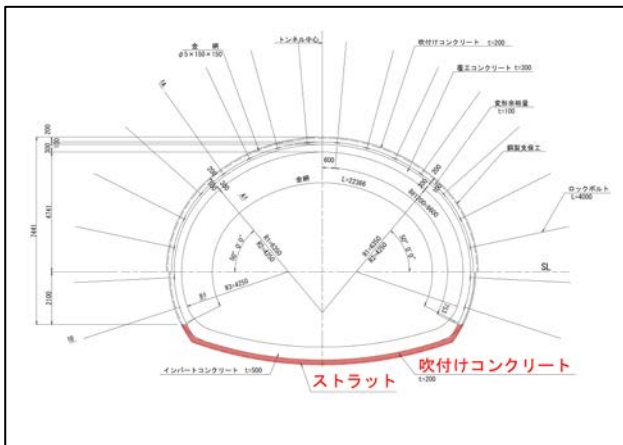


図-8 支保パターン図 (DII-H2-s)



図-9 インポートストラット



図-10 インポート吹付コンクリート

切羽安定対策と早期閉合により安定して施工を進めていたが、土被りの増加に伴い、TD480m付近では早期閉合を施工するまでの初期変位が管理レベルⅢまで進行する状況となり、さらなる支保工のランクアップが必要となった。そこで鋼製支保をHH150からH200に変更し吹付コンクリート厚さを200mmから250mmとすることで支保工を強化したDII-H2.5-sパターンへ変更した。この結果、早期閉合までの初期変位が抑制され、管理レベルⅠ(変位量51mm)程度になり、安定した施工を進めることが可能になった。(図-11)

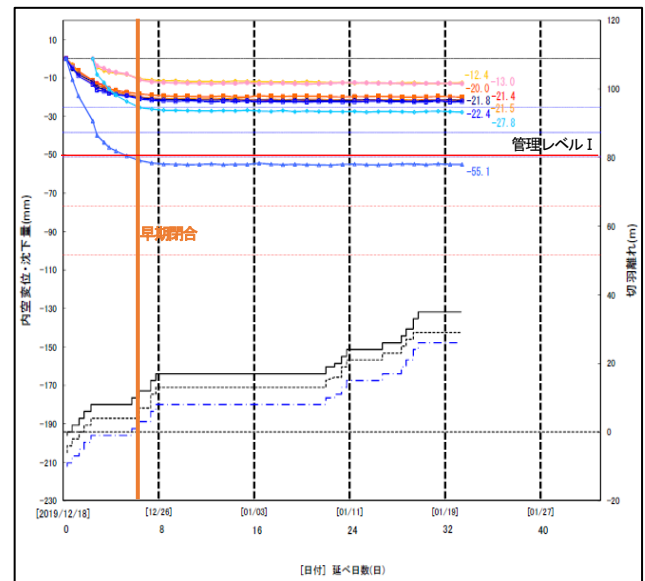


図-11 A計測結果 (TD550m)

5. 今後について

本工事は、切羽天端・鏡面の崩落、内空変位の増大によって対策を行うことになったが、各種補助工法の検討を行い、実施することで、安定して施工を進められており、令和2年6月29日現在、掘削延長がTD866mまで到達している。

この先も地質状況が大きく改善する見込みはないが、今後は、土被りが小さくなることに伴い、初期変位量が小さくなると想定している。直近では初期の内空変位量が管理レベルⅠ以下になっており、土被りに比例し今後もさらに変位量が減少すると考えられるため、支保パターンのランクダウンについても検討していく。

また、切羽安定対策についても、注入式長尺鋼管先受工は継続しているが、鏡面の安定対策である注入式長尺鏡ボルトは、湧水及び地山状況等の変化に伴い、現在は施工を行っていない。

今後も、切羽や内空変位の状況を慎重に見極めながら、適切な支保パターンや補助工法を実施し、工事を進めていく。